

2. Капустин В.Г., Скок Н.В. Ландшафтное районирование горной полосы и предгорий Среднего Урала // Современные исследования природных и социально-экономических систем. Инновационные процессы и проблемы развития естественнонаучного образования: матер. Международ. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию Географо-биологического факультета УрГПУ, 17-18 ноября 2016 г., Екатеринбург / ред. Янцер О.В., Ванюкова Т.В., Иванова Ю.Р.; Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург, 2016. — С. 144–149.
3. Янцер О.В., Терентьева Е.Ю. Общая фенология и методы фенологических наблюдений. УрГПУ, 2012. — 200 с.
4. Янцер О.В., Терентьева Е.Ю., Общая фенология и методы фенологических исследований: учебное пособие для студентов географо-биологического факультета. Екатеринбург: УрГПУ, 2013. 218 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ TbCo

Гринина З.В., Кулеш Н. А., Болячкин А. С.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

zlatagrinina@ya.ru, nikita.kulesh@urfu.ru

Аннотация. Проведено исследование процессов перемангничивания тонких пленок Ta/Tb₂₉Co₇₁/Ta с различными типами наноструктурирования. Осаждение магнитного материала производилось на пористую поверхность подложек, барьерный оксидный слой и сплошную подложку. Для всех пленок показано наличие сильной перпендикулярной магнитной анизотропии. Проанализированы процессы перемангничивания и характер доменной структуры для пленок на разных подложках. Для пленок, осажденных на пористые подложки, наблюдалось более чем трехкратное увеличение коэрцитивной силы по сравнению со сплошной и осажденной на барьерный слой пленками, которое сопровождалось уменьшением среднего размера доменов в области коэрцитивной силы.

Ключевые слова: тонкие магнитные пленки, перпендикулярная магнитная анизотропия, наноперфорированные структуры, анодированный алюминий.

INVESTIGATION OF MAGNETIZATION REVERSAL IN NANOSTRUCTURED FILMS BASED ON THE TbCo SYSTEM

Z. V. Grinina, N. A. Kulesh, A. S. Bolyachkin

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The magnetization reversal of thin Ta/Tb₂₉Co₇₁/Ta films with various types of nanostructuring was investigated. The deposition of the magnetic material was carried out on the porous surface of the substrates, the barrier oxide layer and the continuous substrate. The presence of strong perpendicular magnetic anisotropy was shown for all types. The magnetization reversal processes and the character of the domain structure for films on different substrates was analyzed. For films deposited on porous substrates, a more than triple increase in coercivity was observed as compared to a continuous film, which was accompanied by a decrease in the average domain size in the coercivity region.

Key words: thin magnetic films, perpendicular magnetic anisotropy, nanopatterned structures, anodic alumina

Магнитные наноструктуры, в особенности, имеющие размер структурных элементов сопоставимый с характерными масштабами дипольного или обменного взаимодействий, в последние годы являются объектом повышенного интереса. Искусственное изменение структуры различных материалов на таком масштабе позволяет существенно влиять на их макроскопические магнитные свойства. Одним из способов такого структурирования является внесение наноразмерных дефектов в виде включений немагнитного материала или отверстий различной формы и размера.

Выбор ферримагнитной системы TbCo в качестве объекта исследования обусловлен несколькими причинами. Благодаря возможности тонкой настройки состава и достижения состояния, близкого к антиферромагнитному, пленки TbCo представляют интерес с точки зрения использования в MRAM [1]. Слои TbCo могут быть использованы для реализации обменного смещения в прилегающих ферромагнитных слоях с осью магнитной анизотропии параллельной или перпендикулярной плоскости пленки [2], [3].

Данная работа призвана внести вклад в исследования наноструктурированных тонких магнитных пленок с перпендикулярной магнитной анизотропией и направлена на изучение их магнитных свойств в зависимости от характеристик перфорированных подложек анодированного алюминия. Полученные результаты в дальнейшем могут способствовать более широкому использованию наноструктурирования при проектировании и создании комплексных пленочных структур с однонаправленной анизотропией.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Структурирующие пористые подложки были подготовлены путем двойного анодирования фольги высокочистого (99,995 %) алюминия [4]. Для этого была использована электрохимическая ячейка с 0,3 М раствором щавелевой кислоты и платиновым катодом. Для дальнейшего сравнительного анализа одна из подложек подвергалась механической полировке. Изначальный диаметр полученных пор составлял 35 нм и был увеличен до 75 нм путем травления в фосфорной кислоте. Расстояние между порами составляло 105 нм. Гексагональное упорядочение пор и указанные размеры были подтверждены данными сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии. Осаждение магнитного материала производилось на сплошную стеклянную подложку, пористую подложку с шестью пиками вокруг пор (неполированную подложку), пористую подложку без пиков (полированную) или на подложку без пор с пиками на месте отверстий (барьерный оксидный слой).

Аморфные пленки Ta(5нм)/Tb₂₉Co₇₁(30нм)/Ta(5нм) были получены методом магнетронного распыления на установке ATC Orion 8 UHV. Напыление сплошных и наноперфорированных пленок производилось в едином цикле. Технологическое магнитное поле 25 мТл было направлено вдоль плоскости подложек. Для аттестации магнитных свойств использовались магнитооптический Керр-микроскоп Evico Magnetix, вибрационный магнитометр Lake Shore 7407 VSM и магнитоизмерительный комплекс на основе СКВИД магнитометра MPMSXL7.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим перемагничивание сплошной пленки Tb₂₉Co₇₁ на стеклянной подложке при приложении поля перпендикулярно плоскости пленки. Полярная компонента намагниченности при данной ориентации поля, которая соответствует оси легкого намагничивания (ОЛН), демонстрирует прямоугольную петлю гистерезиса (рис. 1), перемагничивание осуществляется преимущественно за счет движения доменных стенок. Пленки, осажденные на барьерный оксидный слой, имели H_c при приложении поля перпендикулярно

плоскости пленки практически идентичную референтному образцу (рис. 1). Пленки, осажденные на полированную и неполированную пористые подложки, имели повышенную коэрцитивную силу H_c (4,5 кЭ и 5,3 кЭ соответственно против 1,5 кЭ у сплошной пленки). Вибрационный магнитометр, в свою очередь, позволил определить абсолютное значение магнитного момента μ пленки, а зная ее объем мы можем найти намагниченность насыщения $M_S = 150$ Гс.

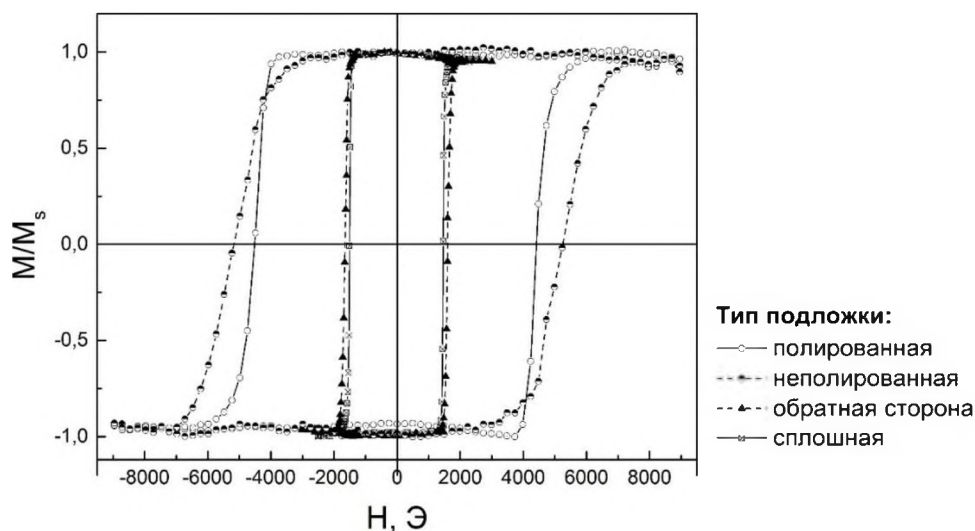


Рисунок 1 – Петли гистерезиса $Tb_{29}Co_{71}$ на разных подложках при приложении поля перпендикулярно плоскости пленки, полученные методом магнитооптической микроскопии

Рассмотрим перемагничивание сплошной пленки $Tb_{29}Co_{71}$ при приложении поля вдоль и перпендикулярно направлению технического поля. Различная форма полученных петель гистерезиса свидетельствует о наличии наведенной анизотропии (рис. 2).

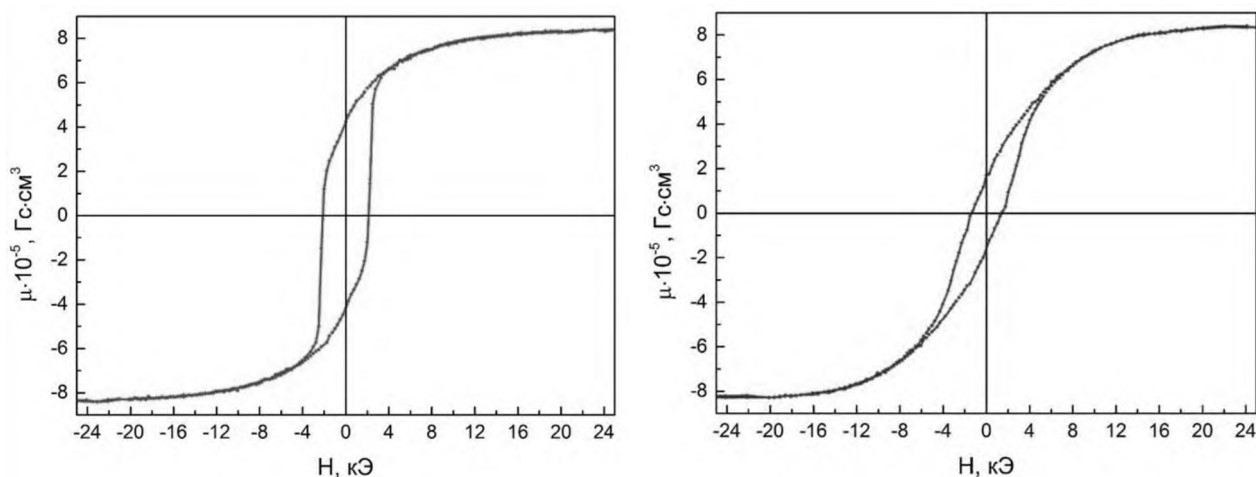


Рисунок 2 – Петли гистерезиса сплошной пленки $Tb_{29}Co_{71}$ при приложении поля в плоскости пленки вдоль направления технического поля (а) и перпендикулярно ему (б), полученные на магнитометре MPMSXL7

Из петель гистерезиса, полученных при приложении поля в плоскости образца вдоль оси приложения технологического поля, и намагниченности насыщения M_s можно оценить величину константы анизотропии K_u . Тогда по формуле можно найти фактор качества Q , который и для сплошной, и для перфорированной пленки равняется 2,6.

Показано наличие сильной перпендикулярной магнитной анизотропии для сплошных и наноструктурированных пленок Tb₂₉Co₇₁. Дефектная структура не повлияла на значение фактора качества Q , которое составило 2,6 как для сплошной, так и для перфорированной пленки.

Проанализированы процессы перемагничивания и характер доменной структуры для пленок на разных подложках. Для пленок, осажденных на пористые подложки, наблюдалось более чем трехкратное увеличение коэрцитивной силы по сравнению со сплошной пленкой, которое сопровождалось уменьшением среднего размера доменов в области коэрцитивной силы. Слои Tb₂₉Co₇₁, осажденные на барьерный слой, имели коэрцитивную силу приблизительно равную таковой для сплошной пленки.

Указанное влияние структурирующих подложек является следствием специфической микромагнитной структуры и возникающих локальных полей рассеяния, а также наличия наноразмерных центров пиннинга доменных границ в случае перфорированных структур.

Список литературы

- 1 Tang M. H. et al. Interfacial exchange coupling and magnetization reversal in perpendicular [Co/Ni] N/TbCo composite structures //Scientific reports. – 2015. – Т. 5. – С. 10863.
- 2 Schubert C. et al. Interfacial exchange coupling in Fe-Tb/[Co/Pt] heterostructures //Physical Review B. – 2013. – Т. 87. – №. 5. – С. 054415.
- 3 Kulesh N. et al. Magnetic and magnetoresistive properties of Fe₁₀Ni₉₀/Tb–Co films with modified interlayer interface //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – Т. 415. – С. 57-60.
- 4 Masuda H., Fukuda K. Ordered metal nanohole arrays made by a two-step replication of honeycomb structures of anodic alumina //Science. – 1995. – Т. 268. – №. 5216. – С. 1466-1468.